

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. April 2003 (03.04.2003)

PCT

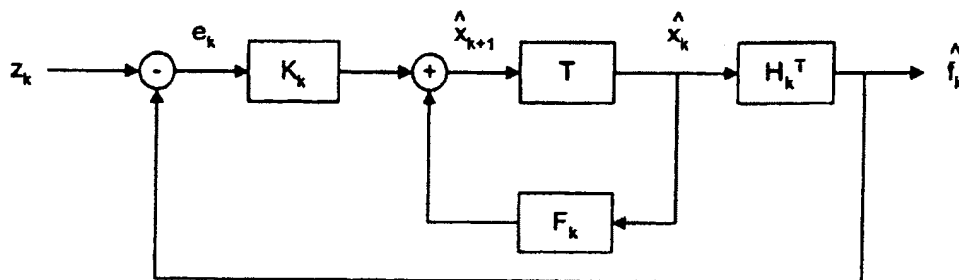
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/028323 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04L 25/02, 27/26
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02182
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. Juni 2002 (14.06.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
101 41 971.6 28. August 2001 (28.08.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BÄR, Siegfried [DE/DE]; Hildegardstr. 22, 85716 Unterschleißheim (DE). CHOI, Hyung-Nam [KR/DE]; Amrumer Knick 11, 22117 Hamburg (DE). KOWALEWSKI, Frank [DE/DE]; Schierke 16, 38228 Salzgitter (DE). SCHMIDT, Holger [DE/DE]; Schlaegerstr. 25, 30171 Hannover (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ADAPTIVE CHANNEL ESTIMATION FOR AN OFDM-BASED MOBILE TELEPHONY SYSTEM BY VARIATION OF THE NUMBER OF PILOT SYMBOLS

(54) Bezeichnung: ADAPTIVE KANALSCHÄTZUNG IN EINEM OFDM-BASIERTEM MOBILFUNKSYSTEM DURCH VARIATION DER ANZAHL DER PILOTSYMBOLS



(57) Abstract: The aim of the invention is to optimise channel estimation in order to increase the data transfer rate in an OFDM-based mobile telephony system. To this end, data signals comprising information symbols and at least one pilot symbol are received via the radio channel and the radio channel is estimated on the basis of the at least one pilot symbol. A receiver measures a state variable, especially the signal/interference ratio, the coherence time and/or the coherence bandwidth, of the radio channel and transmits a corresponding state value to the emitter. Said emitter varies the number of pilot symbols to be transmitted in one burst and adapts it to the modification speed of the radio channel.

(57) Zusammenfassung: Zur Erhöhung der Datenrate in einem OFDM-basierten Mobilfunksystem soll die Kanalschätzung optimiert werden. Hierzu werden empfangene Datensignale, die Informationssymbole und mindestens ein Pilotsymbol umfassen, über den Funkkanal empfangen und der Funkkanal anhand des mindestens einen Pilotsymbols geschätzt. Ein Empfänger misst eine Zustandsgröße, insbesondere das Signal-Interferenz-Verhältnis, die Kohärenzzeit und/oder die Kohärenzbandbreite, des Funkkanals und übermittelt einen entsprechenden Zustandswert an den Sender. Dieser variiert die Anzahl der zu übertragenden Pilotsymbole in einem Burst und passt sie an die Änderungsgeschwindigkeit des Funkkanals an.

BEST AVAILABLE COPY

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Adaptive Kanalschätzung in einem OFDM-basierten Mobilfunksystem durch Variation der Anzahl der Pilotsymbole

5

Im Allgemeinen handelt es sich bei einem Mobilfunkkanal um einen zeitvarianten und frequenzselektiven Kanal. Im Fall eines ortsfesten Senders wird die Zeitvarianz hervorgerufen durch die Bewegung des mobilen Empfängers. Die Frequenzselektivität wird hervorgerufen durch die Mehrwegeausbreitung. Der Mobilfunkkanal lässt sich durch folgende Parameter beschreiben:

10

- Der Delay spread τ_D beschreibt die mittlere zeitliche Verbreiterung eines Signals, wenn dieses über den Funkkanal übertragen wird. Den Kehrwert bezeichnet man als Kohärenzbandbreite K_B .
- Der Doppler spread B_D beschreibt die mittlere Frequenzverbreiterung, die die Bandbreite eines Sendesignals bei der Übertragung über den Funkkanal erfährt. Den Kehrwert bezeichnet man als Kohärenzzeit T_C .

15

20

25

30

Abhängig von den Signal- und Kanaleigenschaften, bezeichnet man den Mobilfunkkanal als frequenzselektiv, d.h. der Mobilfunkkanal lässt sich dann als ein Mehrwegekanal beschreiben, wenn die Signalbandbreite B sehr viel größer als die Kohärenzbandbreite K_B ist, d.h. $B \gg K_B$. Andernfalls ist der Mobilfunkkanal nicht frequenzselektiv und lässt sich dann als ein Einwegekanal beschreiben. Des Weiteren bezeichnet man den Mobilfunkkanal als zeitvariant, wenn die Symboldauer T des Signals sehr viel größer als die Kohärenzzeit T_C ist, d.h. $T \gg T_C$. Andernfalls kann man den Kanal als zeitinvariant betrachten.

35

Die Eigenschaften des Mobilfunkkanals führen im allgemeinen dazu, dass das Signal des Senders den mobilen Empfänger nicht nur auf dem direkten Weg, sondern auch auf verschiedenen We-

- gen mit unterschiedlichen Laufzeiten und Dämpfungseinflüssen erreicht. Das empfangene Signal setzt sich also aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen, wobei sich deren Amplituden, Laufzeiten und Phasen zufällig verhalten. Das Empfangssignal stellt daher eine verzerrte und gestörte Version des Sendesignals dar. Es ist die Aufgabe des Empfängers, eine Entzerrung durchzuführen, um aus dem Empfangssignal wieder das Sendesignal detektieren zu können. Ein Empfänger, der nach dem MLSE-Prinzip arbeitet, benötigt hierfür jedoch die Kenntnis der sogenannten Kanalimpulsantwort, hier dargestellt durch die Funktion $f(\tau; t)$. Die Funktion $f(\tau; t)$ beschreibt die Antwort des Kanals auf einen Impuls zur Zeit t , der den Kanal zur Zeit $t - \tau$ anregte. Die um τ verzögerten Anteile werden als Echos bezeichnet. In Figur 1 ist als Beispiel eine in Symboltakt T abgetastete Kanalimpulsantwort $f(\tau; t)$ dargestellt, die einen Mobilfunkkanal mit $L=6$ verschiedenen Ausbreitungswegen beschreibt. Jeder einzelner Pfad beeinflusst das Sendesignal mit unterschiedlichen Verzögerungen und Dämpfungen.
- Das Bestimmen einer Schätzung der Kanalimpulsantwort wird als Kanalschätzung bezeichnet. Es gibt eine Vielzahl von Verfahren zur Kanalschätzung. Ein gängiges Verfahren ist das Auswerten des Empfangssignals, das durch das Übertragen eines bekannten Testsignals, auch als Pilotsignal oder Trainingssequenz bezeichnet, über den Mobilfunkkanal entsteht. Mathematisch bedeutet das Übertragen des Testsignals über den Kanal dessen "Faltung" mit der Kanalimpulsantwort. Die Kanalschätzung im Empfänger erreicht man durch die entsprechende "Entfaltung" bzw. "Korrelation" dieses Empfangssignals mit dem ursprünglich gesendeten Testsignal.

- In Mobilfunksystemen der 2. bzw. 3. Generation wie dem GSM bzw. UMTS TDD-Mode erfolgt die Datenübertragung in Zeitschlitzten in einer fest vorgegebenen Struktur, den sog. Bursts. In Figur 2 ist als Beispiel eine solche Burststruktur dargestellt. Der Burst besteht aus zwei Datenblöcken D1 und D2, separiert durch einen Datenblock M zur Kanalschätzung, in

dem das Pilotsignal übertragen wird. Die Kanalschätzung in den o.g. Mobilfunksystemen erfolgt bisher nur aus dem Pilot-signal. Mit der geschätzten Kanalimpulsantwort werden dann die Informationsdaten in den Datenblöcken D1 und D2 detek-
5 tiert. Die Länge des Pilotsignals bzw. des Datenblocks M hängt dabei im wesentlichen von der maximalen Kanalimpulsant-wortlänge ab. Die Länge der Datenblöcke D1 und D2 hängt im wesentlichen von der Kanal-Kohärenzzeit ab. Dabei sollten die Längen von D1 und D2 deutlich kleiner als die Kanal-Kohärenz-
10 zeit sein, um während der Datendetektion von zeitvarianten Kanaleigenschaften unabhängig zu sein.

Für zukünftige Mobilfunksysteme der 4. Generation werden Ü-
bertragungsraten über 100 Mbps gefordert. Hierzu werden auch
15 entsprechend große Bandbreiten benötigt. Mit zunehmender Bandbreite nimmt jedoch die Frequenzselektivität des Mobil-funkkanals zu, die starke Verzerrungen des Empfangssignals bewirken. Dies macht dann den Einsatz aufwendiger Empfänger erforderlich. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple-
20 xing) stellt ein geeignetes Verfahren zur Realisierung von Mobilfunksystemen der 4. Generation dar, mit dem auch die ne-gativen Kanaleinflüsse durch die Frequenzselektivität mini-miert werden, so dass auch der Empfängeraufwand erheblich re-duziert werden kann.

25 OFDM stellt ein Mehrträgerverfahren dar, in dem die Signal-bandbreite B in M Subbändern unterteilt wird. Auf diese Weise hat man nicht einen Frequenzträger mit großer Bandbreite, sondern M Frequenzträger mit der Bandbreite $\Delta f = B/M$. Beim
30 OFDM wird also der zu übertragende Datenstrom auf eine Viel-zahl von Subträgern aufgeteilt und mit einer entsprechend re-duzierten Datenrate parallel übertragen. Der einzelne Träger-frequenzabstand Δf ist dabei so festgelegt, dass der Ein-
fluss der Frequenzselektivität klein gehalten wird. Das be-
35 deutet, dass man im optimalen Fall für jeden Subträger einen nichtfrequenzselektiven Kanal erhält, d.h. der Kanal besteht aus einem direkten Pfad. Andererseits nehmen die Auswirkungen

der Zeitvarianz mit geringer werdender Bandbreite zu, so dass nach wie vor eine Kanalschätzung zweckmäßig ist.

5 In einem OFDM-basierten Mobilfunksystem können die gängigen
Kanalschätzverfahren auf Basis von bekannten Pilotsymbolen
angewendet werden. Hierzu werden auf jedem Subträger im Da-
tenburst Pilotsymbole übertragen. Die Detektion der unbekann-
ten Informationssymbole erfolgt auf Basis der geschätzten Ka-
nalimpulsantwort. In Figur 3 ist als Beispiel ein OFDM-System
10 dargestellt, das aus 8 Subträgern (auf der Frequenzachse F)
besteht und in dem auf jedem Subträger Pilotsymbole PS im
Verhältnis 1/3 verteilt sind (auf der Zeitachse t), d.h. nach
jeweils 3 Informationssymbolen IS der Symbollänge T folgt ein
Pilotsymbol. Zur Kanalschätzung wird jeweils nur ein Pilot-
15 symbol benötigt, da der Mobilfunkkanal auf jedem Subträger
nur aus einem Pfad besteht.

Die Aufgabe der Erfindung ist die Optimierung der Kanalschät-
zung zur Erhöhung der Datenrate in einem OFDM-basierten Mo-
20 bilfunksystem.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren
nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 11 und ein
Funkübertragungssystem nach Anspruch 18.

25

- Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der Kern der Erfindung betrifft ein Verfahren, das eine adap-
30 tive Kanalschätzung ermöglicht.

Die Kanalschätzung erfolgt vorzugsweise auf Basis variabler
Übertragung von Pilotsymbolen. Dieses Verfahren ermöglicht
die Übertragung von Pilotsymbolen innerhalb eines Datenbursts
35 in Abhängigkeit von den Kanaleigenschaften. Das Verfahren
nutzt hierzu Kanalzustandsinformationen aus, welche über ei-
nen Rückkanal vom Empfänger zum Sender übertragen werden.

Diese Kanalzustandsinformationen werden im Sender mit geeignet gewählten Schwellwerten verglichen. Anhand des Entscheidungsergebnisses wird die Anzahl der Pilotsymbole im Datenburst reduziert oder erhöht.

5

Bisher waren für OFDM-Systeme nur Verfahren zur Kanalschätzung bekannt, die eine Schätzung auf Basis fester Pilotsymbole, d.h. einer fest vorgegebenen Anzahl von Pilotsymbolen, durchführen. Die Übertragung von Pilotsymbolen bedeutet aber
10 eine Ressourcen-Verschwendung, da die Pilotsymbole nicht der Informationsübertragung dienen. Daher wird erfindungsgemäß eine Kanalschätzung auf Basis variabler Übertragung von Pilotsymbolen, d.h. einer adaptiven Einstellung der Anzahl der verwendeten Pilotsymbole, durchgeführt, so dass Pilotsymbole
15 nur bei Bedarf übertragen werden, in Abhängigkeit von den Kanaleigenschaften. Des Weiteren ist auch eine Kanalschätzung auf die übertragenen unbekannten Informationssymbole von Vorteil, so dass insgesamt die Zahl der zu übertragenden Pilotsymbole reduziert werden kann. Auf diese Weise kann die Datenübertragungsrate eines OFDM-Systems ohne Beeinträchtigung
20 seiner Leistungsfähigkeit gesteigert werden.

Mit anderen Worten ist damit zum einen eine zuverlässige Kanalschätzung während der gesamten Datenübertragung möglich.

25 Zum anderen kann die Zahl der zu übertragenden Pilotsymbole zur Kanalschätzung variabel gestaltet werden. Auf diese Weise kann die Datenübertragungsrate eines OFDM-Systems ohne Beeinträchtigung seiner Leistungsfähigkeit gesteigert werden.

30 Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel einer im Symboltakt T-abgetasteten Kanalimpulsantwort;

35

Fig. 2 ein Beispiel einer Burst-Struktur zur Datenübertragung;

Fig. 3 ein Beispiel eines OFDM-Systems mit acht Subträgern;

5 Fig. 4 ein im Symboltakt T-abgetastetes Zustandsraummodell für einen nichtfrequenzselektiven Kanal; und

Fig. 5 ein Blockschaltbild eines Kanalschätzers.

10 Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar. Die erfindungsgemäße Kanalschätzung auf der Basis variabler Übertragungs- und Pilotsignalen kann dabei gegebenenfalls durch eine Kanalschätzung auf der Basis von sogenannten Kal-

15 man-Filtern ergänzt werden.

Kanalschätzung auf Basis variabler Übertragung von Pilotsymbolen

Bei diesem Verfahren erfolgt im Empfänger die Kanalschätzung auf jedem Subträger in Abhängigkeit von den jeweiligen Kanaleigenschaften. Am Anfang der Datenverbindung überträgt der Sender auf jedem Subträger Pilotsymbole (PS) noch nach einem festen Muster, beispielsweise im Verhältnis 1/3, d.h. nach jeweils 3 Informationssymbolen (IS) der Symbollänge T folgt ein Pilotsymbol. In diesem Fall erfolgt die Kanalschätzung wie gehabt in dem Zeitschlitz, in der das Pilotsymbol gesendet wird. Der geschätzte Kanalkoeffizient wird dann anschließend zur Detektion der darauffolgenden drei Informationssymbole verwendet. Danach folgt wieder eine neue Kanalschätzung usw.

20

25

30

Nach einer bestimmten Zeit kann die Übertragung der Pilotsymbole im Burst adaptiv eingestellt werden, in Abhängigkeit von den jeweiligen Kanaleigenschaften. Im Falle langsam veränderlicher Kanaleigenschaften (z.B. in einem ländlichen Gebiet mit einer niedrigen Geschwindigkeit des mobilen Empfängers) kann die Anzahl der Pilotsymbole sukzessiv verringert werden,

35

beispielsweise im Verhältnis von $1/3$ auf $1/4$. Im Falle schnell veränderlicher Kanaleigenschaften (z.B. in der Stadt mit einer hohen Geschwindigkeit des mobilen Empfängers) hingegen wird die Anzahl der Pilotsymbole im Burst erhöht, beispielsweise im Verhältnis von $1/3$ auf $1/2$, um weiterhin eine zuverlässige Datendetektion zu gewährleisten.

Das Verfahren nutzt hierzu Kanalzustandsinformationen aus, welche über einen Rückkanal vom Empfänger zum Sender übertragen werden. Eine geeignete Kanalzustandsinformation ist z.B. das SIR (Signal-to-Interference-Ratio), d.h. das Signal-Interferenz-Verhältnis. Gemeint ist damit das Verhältnis der empfangenen Signalleistung der Informationssymbole zu der Kanalstörleistung. Das SIR beeinflusst die Güte einer digitalen Datenübertragung, welche durch die Bitfehlerrate BER (Bit Error Rate) ausgedrückt wird. Das BER gibt das Verhältnis der fehlerhaft empfangenen Bits zu den gesendeten Bits wieder. Bei ungünstigen Kanalbedingungen, d.h. bei schnellveränderlichen Kanaleigenschaften, ist die empfangene Signalleistung sehr klein. In diesem Fall sinkt die SIR, und die Daten können dann nur fehlerbehaftet detektiert werden, womit gleichzeitig die BER steigt. Unter Umständen kann der Anstieg der BER so groß sein, dass eine sinnvolle Informationsübertragung nicht mehr möglich ist.

25

Der Empfänger hat nun die Aufgabe, das SIR zu messen, und diese Information über den Rückkanal an den Sender zu schicken. Der Sender reagiert dementsprechend, indem er bei Absinken der SIR unterhalb einer bestimmten Schwelle (die Spezifikation der Schwelle hängt dabei u.a. von der jeweiligen Quality of Service, QoS, ab) in den darauffolgenden Datenübertragungen wieder mehr Pilotsymbole im Burst sendet, so dass wieder eine zuverlässige Datendetektion erreicht werden kann. Andererseits kann es bei günstigen Kanalbedingungen, d.h. bei langsamveränderlichen Kanaleigenschaften, die Zahl der zu übertragenden Pilotsymbole im Burst adaptiv reduzieren, solange die SIR oberhalb der definierten Schwelle

30
35

bleibt. Dieses adaptive Verfahren erlaubt eine zuverlässige Kanalschätzung in Abhängigkeit von den jeweiligen Kanaleigenschaften. Unter günstigen Umständen kann damit insgesamt die Anzahl der zu übertragenden Pilotsymbole reduziert werden,

5 was wiederum zu einer Erhöhung der Datenrate des OFDM-Mobilfunksystems zur Folge hat.

Eine weitere geeignete Kanalzustandsinformation zusätzlich oder unabhängig hiervon ist die Kohärenzzeit T_c , die ein Maß
10 für die Zeitvarianz des Kanals darstellt. Die adaptive Einstellung der Zahl der zu übertragenen Pilotsymbole im Sendeburst auf Basis der Kohärenzzeit T_c kann insbesondere wie folgt aussehen. Der Empfänger misst die Kohärenzzeit aus dem Empfangssignal, und schickt diese Information über den Rück-
15 kanal an den Sender. Der Sender prüft das Verhältnis von Symboldauer T des Signals und dem gemessenen T_c . Wenn anhand einer definierten Schwelle die Bedingung $T \gg T_c$ erfüllt ist, dann überträgt der Sender in den darauffolgenden Datenübertragungen mehr Pilotsymbole im Burst, da der Kanal zeitvari-
20 ant ist. Im anderen Fall ist der Kanal zeitinvariant, und der Sender kann in den darauffolgenden Datenübertragungen die Anzahl der Pilotsymbole im Sendeburst konstant halten oder gegebenenfalls sogar reduzieren.

25 Mit den Kanalzustandsinformationen SIR bzw. Kohärenzzeit kann man die Zahl der Pilotsymbole pro Subträger auf der Zeit-Achse variieren. Zur Variation der Pilotsymbole pro Subträger auch auf der Frequenz-Achse eignet sich als Kanalzustandsinformation zusätzlich oder unabhängig davon die Kohärenzband-
30 breite K_B , die ein Maß für die Frequenzselektivität des Kanals auf jedem Subträger darstellt. Der Empfänger misst die Kohärenzbandbreite aus dem Empfangssignal für jeden Subträger, und schickt diese Information über den Rückkanal an den Sender. Der Sender prüft das Verhältnis von der Bandbreite B
35 des Signals und den gemessenen K_B . Wenn anhand einer definierten Schwelle die Bedingung $B \gg K_B$ erfüllt ist, dann erhöht der Sender die Zahl der Pilotsymbole auf den betreffen-

den Subträgern in den darauffolgenden Datenübertragungen, da der Kanal frequenzselektiv ist. Im anderen Fall ist der Kanal nicht frequenzselektiv, und der Sender kann in den darauffolgenden Datenübertragungen die Zahl der Pilotsymbole auf den
5 betreffenden Subträgern konstant halten bzw. reduzieren.

In der praktischen Realisierung kann es sinnvoll sein, die obigen Kanalzustandsinformationen einzeln oder kombiniert zur Variation der Zahl der Pilotsymbole anzuwenden.

10

Kanalschätzung auf Basis von sog. Kalman-Filtern

In einem OFDM-System wird die Signalbandbreite B in M Subbändern so unterteilt, dass man auf diese Weise für jeden Subträger einen nichtfrequenzselektiven Kanal hat, d.h. der Kanal besteht aus nur einem Ausbreitungsweg. Die Kanalschätzung
15 auf jedem Subträger beschränkt sich damit auf die Schätzung eines zeitvarianten Kanalkoeffizienten. Dies kann wie bisher auf Basis von bekannten Pilotsymbolen erfolgen, die nach einem bestimmten Schema innerhalb eines Datenbursts übertragen werden. Dabei ist das Verhältnis der Anzahl der Pilotsymbole
20 zu Informationssymbolen im Burst so gewählt, dass die Datendetektion unabhängig von zeitvarianten Kanaleigenschaften ist.

Statt nun wie bisher den geschätzten Kanalkoeffizienten zur
25 Detektion der darauffolgenden Informationssymbole zu verwenden, ermöglicht das hier vorgeschlagene Verfahren eine adaptive Kanalschätzung auf die zu übertragenden unbekannten Informationssymbole. Hierzu erfolgt zunächst eine Kanalschätzung wie gehabt in dem Zeitschlitz, in dem das Pilotsymbol
30 gesendet wird. Der geschätzte Kanalkoeffizient wird dann lediglich als Startwert für den anschließenden Algorithmus verwendet, mit dem eine Kanalschätzung auf die unbekannten Informationssymbole durchgeführt wird. Immer wenn ein Zeitschlitz empfangen wird, in dem das Pilotsymbol gesendet wird,
35 findet ein Update des Startwertes für die adaptive Kanalschätzung statt. Auf diese Weise wird die Zuverlässigkeit des Verfahrens gewährleistet. Das hier vorgeschlagene Verfahren

basiert auf den sog. Kalman-Filtern und führt eine Kanalschätzung durch Prädiktion (Vorhersage) durch. Zur Theorie der Kalman-Filter existieren eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die in Sorenson, H.W. : Kalman Filtering: Theory and
 5 Application, IEEE Press selected reprint series, New York, 1985 gesammelt sind.

Beim Kanalschätzer auf Basis der Kalman-Filter wird der nichtfrequenzselektive Mobilfunkkanal durch ein Filter nach-
 10 gebildet und in ein lineares Zustandsraummodell transformiert. Prinzipiell verwendet man als Kalman-Filter rekursive Filter, die eine rationale Z-Übertragungsfunktion N-ter Ordnung haben:

$$15 \quad H(z) = \frac{b_1 z^{N-1} + b_2 z^{N-2} + \dots + b_N}{z^N + a_1 z^{N-1} + \dots + a_N}$$

Dabei ist das Nennerpolynom mit den Koeffizienten a_i , $i=1\dots N$, stets um einen Grad größer als das Zählerpolynom mit den Koeffizienten b_i , $i=1\dots N$. Wenn sich der nichtfrequenzselektive Kanal durch einen Filter mit einer rationalen Z-Übertragungsfunktion nachbilden lässt, dann lautet sein Zustandsraummodell (eine Herleitung ist in Anderson, B.D.O., Moore, J.B.: Optimal Filtering, Prentice-Hall, Inc., Englewood
 20 Cliffs, N.J., 1979 beschrieben):

$$25 \quad \begin{aligned} x_{k+1} &= F_k x_k + G_k w_k \\ f_k &= H_k^T x_k \end{aligned}$$

Darin sind f_k der zeitvariante Kanalkoeffizient, x_k der Zustandsvektor, F_k die Systemmatrix, H_k^T die Transponierte der
 30 Ausgangsmatrix H_k und G_k der Eingangsvektor. Das Systemrauschen w_k ist als komplexer, weißer, gaußverteilter Rauschprozess angenommen, mit dem man die zeitvarianten Einflüsse des Kanals modelliert. Figur 4 zeigt das in Symboltakt T abgetastete Zustandsraummodell für den nichtfrequenzselektiven
 35 Kanal, dargestellt durch den Index k , gleichbedeutend mit

$t=kT$. Die Matrizen F_k , H_k^T und G_k lauten in Regelungsnormalform:

$$F_k = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ -a_N & -a_{N-1} & \cdots & -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}$$

$$G_k = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}, \quad H_k^T = (b_N \ b_{N-1} \cdots b_2 \ b_1)$$

5

F_k hat die Dimension $N \times N$, die Vektoren x_k , G_k und H_k haben die Dimension $N \times 1$. Die Elemente von x_k sind komplexwertig, während F_k , G_k und H_k reell sind.

- 10 Da der Kanal nun durch ein lineares Zustandsraummodell gegeben ist, erfolgt die Schätzung des Kanalkoeffizienten \hat{f}_k durch eine Schätzung des Zustandsvektors \hat{x}_k . Figur 5 zeigt das entsprechende Blockschaltbild des Kanalschätzers, wobei z_k das Empfangssymbol darstellt. Die Gleichungen für den Kanalschätzer lauten:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1} &= F_k \hat{x}_k + K_k (z_k - H_k^T \hat{x}_k) \\ \hat{f}_k &= H_k^T \hat{x}_k \\ \hat{x}_0 &= E[x_0] \end{aligned}$$

- Man sieht, dass der Kanalschätzer im wesentlichen eine Nachbildung des Kanals darstellt. An die Stelle des Eingangsvektors G_k tritt die Kalman-Verstärkung K_k , die für eine schnelle Konvergenz des Schätzalgorithmus sorgt. Als Startwert \hat{x}_0 wird, wie bereits erwähnt, der geschätzte Kanalkoeffizient verwendet, der auf dem übertragenen Pilotsymbol basiert. Die nächsten Schätzwerte \hat{x}_k ergeben sich jeweils aus dem aktuellen Empfangssymbol z_k , der von den unbekannten Informa-
- 20
- 25

tionssymbolen herrührt, und dem jeweils vorhergehenden Schätzwert.

Der Kanalschätzer auf Basis der Kalman-Filter ist für ein gegebenes Zustandsraummodell der optimale lineare Schätzer.

Nach dem MSE-Kriterium, d.h. dem Kriterium zur Minimierung der mittleren Leistung des Fehlers e_k , liefert er einen linearen, erwartungstreuen Schätzwert für den Kanalkoeffizienten mit minimaler Varianz gegenüber allen anderen linearen

Schätzverfahren. Die Qualität sowie Komplexität dieses adaptiven Kanalschätzers hängen im wesentlichen von den verwendeten Filtern und von der Filterordnung N ab, mit der man den zeitvarianten nichtfrequenzselektiven Mobilfunkkanal nachbildet. Im Falle langsam veränderlicher Kanaleigenschaften

(z.B. in einem ländlichen Gebiet mit einer niedrigen Geschwindigkeit des mobilen Empfängers) kann ein Filter niedriger Ordnung (z.B. $N=1,2$) verwendet werden, so dass eine zuverlässige Kanalschätzung bei relativ niedriger Komplexität möglich ist. Im Falle schnell veränderlicher Kanaleigenschaften

(z.B. in der Stadt mit einer hohen Geschwindigkeit des mobilen Empfängers) hingegen wird zweckmäßigerweise ein Filter hoher Ordnung (z.B. $N>7$) verwendet, so dass eine zuverlässige Kanalschätzung bei hoher Komplexität möglich ist. Andererseits ermöglicht die Kanalschätzung mit Kalman-Filtern

eine zuverlässige Kanalschätzung auf die zu übertragenden unbekannten Informationssymbole, so dass insgesamt die Anzahl der zu übertragenden Pilotsymbole in einem Datenburst reduziert werden kann, was wiederum die Datenrate des OFDM-Mobilfunksystems vergrößert.

Im folgenden werden explizit zwei Ausführungsbeispiele vorgestellt, in der als Kanalzustandsinformation nur das SIR angewendet wird. In allen Ausführungsbeispielen wird von einem OFDM-basierten Mobilfunksystem ausgegangen. Des Weiteren wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit jeweils eine downlink-Übertragung angenommen, d.h. die Datenübertragung erfolgt von einer Basisstation in Richtung einer Mobilstation.

In dem OFDM-System ist die zur Verfügung stehende Signalbandbreite B in M Subbändern unterteilt, so dass der Einfluss der Frequenzselektivität auf jedem Subträger klein gehalten wird.

- 5 Auf jedem Subträger erhält man einen nichtfrequenzselektiven Kanal, d.h. der Kanal besteht aus dem direkten Pfad. Andererseits nehmen die Auswirkungen der Zeitvarianz mit geringer werdender Bandbreite zu, so dass auf jedem Subträger eine Kanalschätzung durchgeführt wird. Zur Kanalschätzung werden im
- 10 Datenburst Pilotsymbole nach einem zunächst festen Muster übertragen, wie beispielsweise nach Figur 3, d.h. nach jeweils 3 Informationssymbolen (IS) der Symbollänge T folgt ein Pilotsymbol (PS).

15 Ausführungsbeispiel 1: Kanalschätzung auf Basis variabler Übertragung von Pilotsymbolen

- Zu Beginn der Datenverbindung wird die Kanalimpulsantwort jeweils in dem Zeitschlitz geschätzt, in dem das Pilotsymbol
- 20 gesendet wird. Der geschätzte Kanalkoeffizient wird dann anschließend zur Detektion der darauffolgenden drei Informationssymbole verwendet. Danach folgt wieder eine Kanalschätzung usw.

- Nach einer bestimmten Zeit wird dann die Übertragung der Pilotsymbole adaptiv eingestellt, in Abhängigkeit von den jeweiligen Kanaleigenschaften. Hierzu misst die Mobilstation bei sich das SIR und schickt diesen Wert als Kanalzustandsinformation über einen Rückkanal zur Basisstation. Diese reagiert dementsprechend, indem sie bei Absinken der SIR unterhalb einer bestimmten Schwelle in den darauffolgenden Datenübertragungen im Burst wieder mehr Pilotsymbole sendet, beispielsweise im Verhältnis von $1/3$ auf $1/2$, um wieder eine zuverlässige Datendetektion zu gewährleisten. Andererseits reduziert die Basisstation die Zahl der zu übertragenden Pilotsymbole im Burst, solange die SIR oberhalb der definierten
- 35 Schwelle bleibt, beispielsweise im Verhältnis von $1/3$ auf $1/4$.

Ausführungsbeispiel 2: Zusätzliche Kanalschätzung auf Basis von Kalman-Filtern

Die Mobilstation verfügt über einen Kanalschätzer auf Basis der Kalman-Filter, d.h. es wird ein Filter bestimmter Ordnung
5 verwendet, das eine gute Nachbildung des nichtfrequenzselektiven Kanals darstellt. Auf diese Weise kann die Basisstation einen Burst verwenden, in dem mehr Ressourcen zur Übertragung der Informationssymbole bereit gestellt werden. Die Übertragung der Pilotsymbole in diesem optimierten Burst erfolgt
10 beispielsweise im Verhältnis von 1/10.

Zunächst erfolgt eine Kanalschätzung in dem Zeitschlitz, in dem das Pilotsymbol gesendet wird. Der geschätzte Kanalkoeffizient wird als Startwert für das anschließende Kalman-Filter
15 verwendet, bei dem eine Kanalschätzung auf die unbekannten Informationssymbole durchgeführt wird. Der jeweils aktuelle Schätzwert ergibt sich aus dem aktuellen Empfangssymbol und dem vorhergehenden Schätzwert. Immer wenn ein Zeitschlitz empfangen wird, in dem das Pilotsymbol gesendet wird, findet
20 ein Update des Startwertes für die adaptive Kanalschätzung statt.

Parallel hierzu misst die Mobilstation bei sich jeweils das SIR und schickt diesen Wert als Kanalzustandsinformation über
25 einen Rückkanal zur Basisstation. Diese reagiert dementsprechend, indem sie bei Absinken der SIR unterhalb einer bestimmten Schwelle in den darauffolgenden Datenübertragungen im Burst wieder mehr Pilotsymbole sendet, beispielsweise im Verhältnis von 1/10 auf 1/9 usw., um wieder eine zuverlässige
30 Datendetektion zu gewährleisten. Andererseits reduziert die Basisstation die Zahl der zu übertragenden Pilotsymbole im Burst, solange die SIR oberhalb der definierten Schwelle bleibt, beispielsweise im Verhältnis von 1/10 auf 1/11 usw.

35 Wie bereits angedeutet wurde, kann das oben genannte Verfahren entsprechend auch in uplink-Richtung durchgeführt werden.

Im Rahmen der Erfindung wurden insbesondere folgende Abkürzungen und Definitionen verwendet:

BER	Bit Error Rate
GSM	Global System for Mobile Communications
Mbps	Mega bits per second
MLSE	Maximum Likelihood Sequence Estimation
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QoS	Quality of Service
SIR	Signal to Interference Ratio
TDD	Time Division Duplex
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schätzen eines Funkkanals

5 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

Messen mindestens einer Zustandsgröße des Funkkanals zum
Gewinnen mindestens eines Zustandswerts, und

10 Anpassen einer Anzahl und/oder Zeitfolge von Pilotsym-
bolen, die zum Schätzen des Funkkanals gesendet werden,
an den Zustandswert.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Zustandsgröße das
Signal-Interferenz-Verhältnis ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Zu-
standsgröße die Kohärenzzeit ist.

20 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Zu-
standsgröße die Kohärenzbandbreite ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die An-
zahl der Pilotsymbole in einem Burst variiert wird.

25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Zu-
standsgröße in einem Empfänger gemessen und einem Sender
zum Schätzen übermittelt wird.

30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der
Funkkanal in einem OFDM-Datenübertragungssystem geschätzt
wird.

35 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der
Funkkanal ein Mobilfunkkanal, insbesondere ein fre-
quenzselektiver Mobilfunkkanal, ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16 mit weiterhin einer Filtereinrichtung zum rekursiven Filtern als ergänzendes Schätzen insbesondere durch ein Kalman-Filter.

5

18. Funkübertragungssystem mit einer Vorrichtung zum Schätzen eines Funkkanals nach einem der Ansprüche 11 bis 17, das insbesondere als OFDM-System ausgelegt ist.

10

19. Funkübertragungssystem nach Anspruch 18, wobei der Funkkanal ein Mobilfunkkanal, insbesondere ein frequenzselektiver Mobilfunkkanal, ist.

15

20. Funkübertragungssystem nach Anspruch 18 oder 19 mit einem Empfänger, in dem der Zustandswert messbar ist, und einem Sender, an den der Zustandswert zum Schätzen des Funkkanals übertragbar ist.

20

1/2

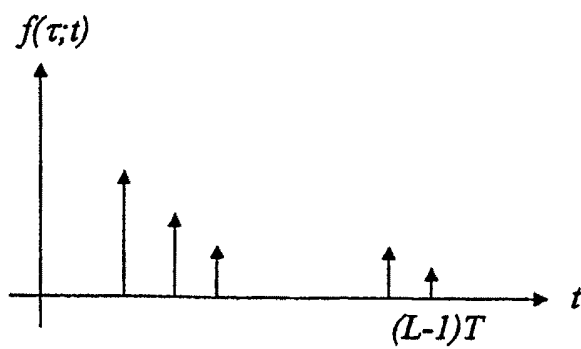


Fig. 1

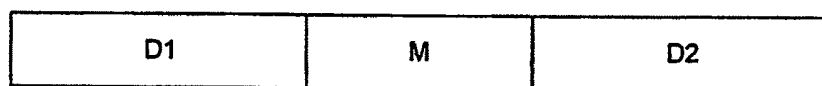


Fig. 2

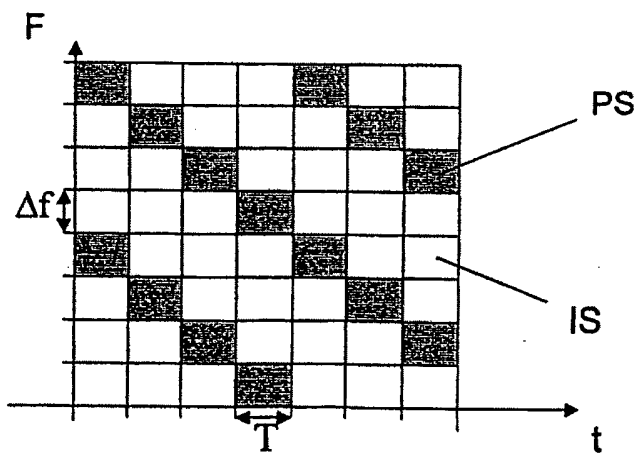


Fig. 3

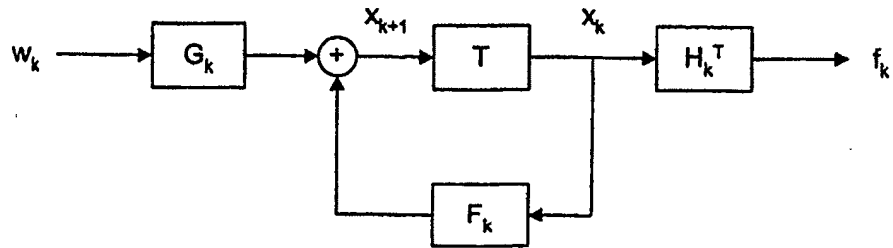


Fig. 4

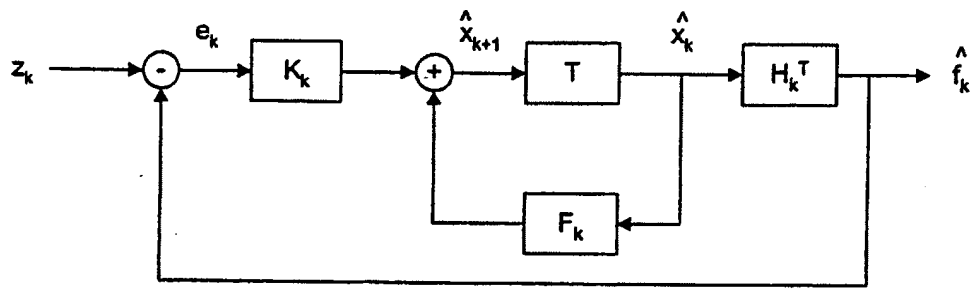


Fig. 5

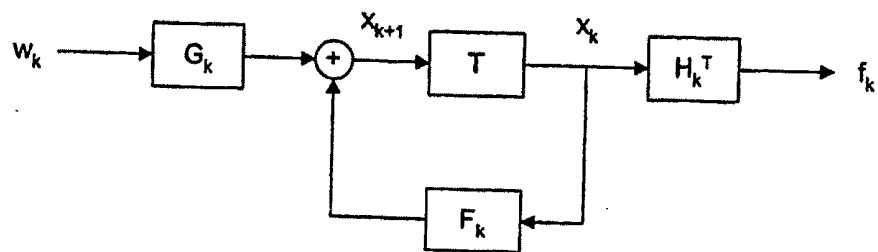


Fig. 4

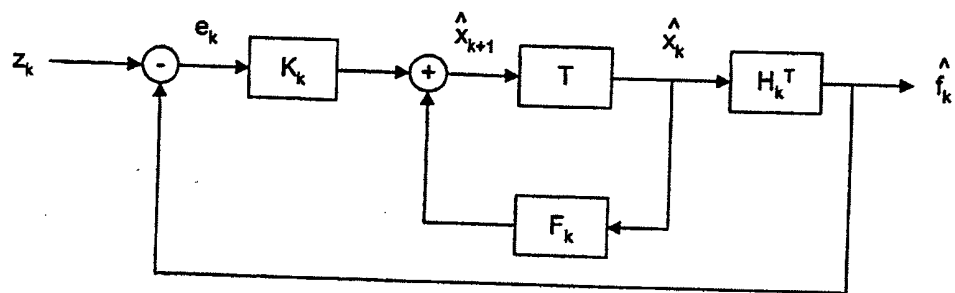


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

international APPLICATION NO

PCT/DE 02/02182

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H04L25/02 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>TUFVESSON F ET AL: "Pilot assisted channel estimation for OFDM in mobile cellular systems"</p> <p>VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 1997, IEEE 47TH PHOENIX, AZ, USA 4-7 MAY 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 4 May 1997 (1997-05-04), pages 1639-1643, XP010229045</p> <p>ISBN: 0-7803-3659-3</p> <p>abstract</p> <p>page 1639, left-hand column, paragraph 2</p> <p>-page 1641, right-hand column, paragraph 2</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1-20

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 February 2003

Date of mailing of the international search report

05/03/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Litton, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International tion No

PCT/DE 02/02182

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>US 6 144 711 A (POLLACK MICHAEL A ET AL) 7 November 2000 (2000-11-07)</p> <p>column 1, line 20 - line 30 column 2, line 40 - line 50 column 5, line 35 - line 50 column 6, line 5 - line 20 column 8, line 35 -column 9, line 20 column 30, line 10 -column 31, line 60 column 32, line 60 -column 34, line 25 -----</p>	<p>1,2, 5-12, 15-20</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/DE 02/02182

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6144711 A	07-11-2000	US 6377631 B1	23-04-2002
		US 6452981 B1	17-09-2002
		AU 4238697 A	19-03-1998
		CA 2302289 A1	05-03-1998
		EP 0920738 A1	09-06-1999
		EP 0931388 A2	28-07-1999
		JP 2001505723 T	24-04-2001
		WO 9809385 A2	05-03-1998
		WO 9809381 A1	05-03-1998
		WO 9809395 A1	05-03-1998

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04L25/02 H04L27/26

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>TUFVESSON F ET AL: "Pilot assisted channel estimation for OFDM in mobile cellular systems"</p> <p>VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 1997, IEEE 47TH PHOENIX, AZ, USA 4-7 MAY 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 4. Mai 1997 (1997-05-04), Seiten 1639-1643, XP010229045</p> <p>ISBN: 0-7803-3659-3</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>Seite 1639, linke Spalte, Absatz 2 -Seite 1641, rechte Spalte, Absatz 2</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-20

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. Februar 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/03/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Litton, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationaler Zeichen
PCT/DE UZ/U2182

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Betr. Anspruch Nr.

Kategorie*

Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile

X

US 6 144 711 A (POLLACK MICHAEL A ET AL)
7. November 2000 (2000-11-07)

1,2,
5-12,
15-20

Spalte 1, Zeile 20 - Zeile 30
Spalte 2, Zeile 40 - Zeile 50
Spalte 5, Zeile 35 - Zeile 50
Spalte 6, Zeile 5 - Zeile 20
Spalte 8, Zeile 35 - Spalte 9, Zeile 20
Spalte 30, Zeile 10 - Spalte 31, Zeile 60
Spalte 32, Zeile 60 - Spalte 34, Zeile 25

Angaben zu Veröffentlichungen, die zu derselben Patentfamilie gehören

internationale Zeichen
PCT/DE 02/02182

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6144711 A	07-11-2000	US 6377631 B1	23-04-2002
		US 6452981 B1	17-09-2002
		AU 4238697 A	19-03-1998
		CA 2302289 A1	05-03-1998
		EP 0920738 A1	09-06-1999
		EP 0931388 A2	28-07-1999
		JP 2001505723 T	24-04-2001
		WO 9809385 A2	05-03-1998
		WO 9809381 A1	05-03-1998
		WO 9809395 A1	05-03-1998

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)